

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 7 月 2 9 日
Date of Application:

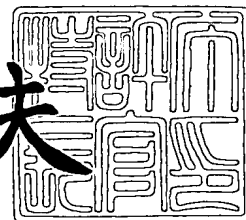
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 2 8 1 4 5 0
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 2 8 1 4 5 0]

出 願 人 三 菱 電 機 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 0 月 1 5 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 546801JP01
【特記事項】 特許法第 3 0 条第 1 項の規定の適用を受けようとする特許出願
【提出日】 平成15年 7月29日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01L 31/10
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内
 【氏名】 中路 雅晴
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内
 【氏名】 石村 栄太郎
【特許出願人】
 【識別番号】 000006013
 【氏名又は名称】 三菱電機株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100082175
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 高田 守
 【電話番号】 03-5379-3088
【選任した代理人】
 【識別番号】 100066991
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 葛野 信一
 【電話番号】 03-5379-3088
【選任した代理人】
 【識別番号】 100106150
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 高橋 英樹
 【電話番号】 03-5379-3088
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 049397
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】

半絶縁性の半導体基板と、

この半導体基板上に配設され、この半導体基板側から第1の電極に接続された第1導電型の第1クラッド層、第1導電型の第1光ガイド層、光吸収層、第2導電型の第2光ガイド層、および第2の電極に接続された第2導電型の第2クラッド層が順次積層された光導波路層と、を備えるとともに、

最も短い信号光波長帯である第1の信号光波長帯の中心波長を λ_1 、第2の信号光波長帯の中心波長を λ_2 ($\lambda_2 > \lambda_1$)、上記第1、第2クラッド層の材料の組成波長を λ_a としたときに、

上記第1、第2光ガイド層が上記第1の信号光に対して透明になるように、第1、第2光ガイド層の材料の組成波長 λ_g が、 $\lambda_a < \lambda_g < \lambda_1$ を満足するとともに、

第1、第2の光ガイド層の厚みの変化に対する上記 λ_1 の感度曲線の勾配が正から負に変わる極値に対応した第1、第2の光ガイド層の厚みを d_1 、

第1、第2の光ガイド層の厚みの変化に対する上記 λ_2 の感度曲線の勾配が正から負に変わる極値に対応した第1、第2の光ガイド層の厚みを d_2 としたときに、

第1、第2の光ガイド層の厚み d_g が

$$0.75d_1 \leq d_g \leq 1.25d_2$$

を満足することを特徴とした多波長帯信号光兼用の導波路型受光素子。

【請求項 2】

光吸収層の厚みを d_a としたとき、

$$0.3\mu\text{m} \leq d_a \leq 0.5\mu\text{m}$$

を満足することを特徴とした請求項1記載の導波路型受光素子。

【請求項 3】

第1、第2クラッド層をInPで形成しその組成波長 λ_a を $\lambda_a = 0.92\mu\text{m}$ とし、 $\lambda_1 = 1.3\mu\text{m}$ として、第1、第2の光ガイド層の材料の組成波長 λ_g を定めるとともに

$\lambda_2 = 1.55\mu\text{m}$ として、第1、第2の光ガイド層の厚み d_g が、 $d_1 = 0.4\mu\text{m}$ 、 $d_2 = 0.6\mu\text{m}$ とする $0.3\mu\text{m} \leq d_g \leq 0.75\mu\text{m}$ を満足することを特徴とした請求項1または2記載の導波路型受光素子。

【請求項 4】

第1、第2の光ガイド層がInGaAsP系半導体材料で構成されたことを特徴とする請求項1ないし3のいずれか1項に記載の導波路型受光素子。

【請求項 5】

第1、第2の光ガイド層がAlInGaAsP系半導体材料で構成されたことを特徴とする請求項1ないし3のいずれか1項に記載の導波路型受光素子。

【請求項 6】

第1、第2の光ガイド層がGaInNAs系半導体材料で構成されたことを特徴とする請求項1ないし3のいずれか1項に記載の導波路型受光素子。

【請求項 7】

導波路側面に光吸収層より屈折率の低い材料により構成された低屈折率層を配設したことを特徴とする請求項1ないし6のいずれか1項に記載の導波路型受光素子。

【書類名】明細書

【発明の名称】導波路型受光素子

【技術分野】

【0001】

この発明は、導波路型受光素子に係り、特に光通信システム等に使用される導波路型受光素子に関するものである。

【背景技術】

【0002】

通信需要量の飛躍的な増加に伴って、通信システムの大容量化が図られてきているが、このためには光通信機器の高速化、小形・高効率化、低コスト化が必要となっている。

光通信の伝送系においては信号光として2波長帯の光が使用されている。一つは信号光の帯域の中心波長が1.3 μm である1.3 μm 帯の信号光ともう一つは信号光の帯域の中心波長が1.55 μm である1.55 μm 帯の信号光である。

【0003】

1.55 μm 帯の信号光は光ファイバ損失が小さく長距離通信系の信号光として使用される。これは都市間通信（幹線系）とよばれて、例えば東京－大阪間のように大都市間の通信に使用される。

一方1.3 μm 帯の信号光は光ファイバ損失は大きい波長分散が少なく、短距離通信系の信号光として使用される。これは例えば、都市内通信とよばれ大都市内の通信に使用されている。また1.3 μm 帯の信号光は、アクセス系と呼ばれる基地局－各家庭間の通信にも使用される。

光通信システムにおいて、この二つの波長帯の信号光を受光するフォトダイオードは、それぞれの波長帯の光に対応して形成された一波長対応の導波路型半導体フォトダイオードが使用されていた。

【0004】

従来の導波路型受光素子の公知例としては、n導電型InP基板（以下n導電型を“n-”で、またp導電型を“p-”で、また真性半導体を“i-”で表記する。）上にn-InGaAsP光ガイド層（バンドギャップ波長：1.3 μm ）、InGaAs光吸収層、p-InGaAsP光ガイド層（バンドギャップ波長：1.3 μm ）、p-InP層を順次積層した構成が開示されている（例えば、特許文献1 段落0001 参照）。

【0005】

また、他の公知例として、光ファイバ通信によく利用される1.3 μm 帯や1.5 μm 帯の光を受光するためにこの波長帯域に対応したバンドギャップの小さな材料を光吸収層に用い、n-InP基板上に、n-InAlGaAsまたはn-InGaAsPのガイド層、n-InAlAsのアバランシェ増倍層、p-InAlAsまたはp-InPの電界緩和層、p-InGaAsの低濃度光吸収層、p-InGaAsの高濃度光吸収層、p型のガイド層、及びp型コンタクト層を順次積層してメサストライプ状の導波路を形成し、この導波路をSiO₂或いはSiNxのパッシベーション膜で覆った構成の半導体受光素子が開示されている（例えば、特許文献2 段落0023～段落0025 参照）。

【0006】

また、他の公知例として、ギガビット以上の通信容量をもつ光通信ネットワークに使用する受光波長1.5 μm 帯10 Gb/s導波路型PIN-PDの構成として、InGaAlAs系の2重コア構造を有するメサ型で、光吸収層にIn_{0.53}Ga_{0.47}Asを用いたことが開示されている（例えば、非特許文献1 参照）。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

従来の導波路型受光素子は、その光通信システムに使用される単一波長帯の信号光に対応したフォトダイオードの構成となっている。しかしながら光通信システムにおける伝送量の拡大により、現段階では都市内通信用に整備されている通信網が都市間通信用として

使用される可能性があり、この場合には現在のように各波長に対応した光部品を使用した場合においては、光通信システムにおける光通信機器の構成が複雑にならざるを得ない。

【0008】

またこの一波長の信号光に対応した光部品、ここでは導波路型フォトダイオード（以下、導波路型PDという）であるが、この一波長の信号光に対応した導波型PDそのまま二波長の信号光を受光したとしても、高感度でかつ高速動作を行わせるのが困難であった。

すなわち、導波路型PDは、光吸収層とこの光吸収層を挟んで設けられた光ガイド層を有する導波路部分に光を閉じ込め、この導波路部分に閉じ込められた光が光ガイド層と光吸収層とを伝播する間に光を吸収して電気信号に変換する構造を有している。

【0009】

そして、この導波路型PDは、光吸収層と光ガイド層およびクラッド層との屈折率差を利用して導波路部分に光を閉じ込めかつ吸収させるために、信号光の波長が異なるとそれぞれの光に対して適した光吸収層、光ガイド層およびクラッド層の屈折率が異なる。

従って、単一波長帯に対応する導波路型PDでは、素子構造を受光波長帯に合わせて最適化することが可能である。しかし多波長に対応する導波路型PDでは、ある波長では感度特性がすぐれているが、他の波長では非常に感度特性が悪いということが発生し、場合によってはすべての波長帯で感度特性が悪化するということが起こり得た。

【0010】

例えば、光ガイド層とクラッド層の屈折率差を大きくすることにより導波路への光の閉じ込めは大きくなるために、光ガイド層の組成波長をバンドギャップ信号光が透過する組成波長の中でのなるべく長波長側の組成波長を選択するのがよい。

しかし多波長に対応させるためには、最も短い波長帯の信号光が光ガイド層を透過できる組成波長を有していなければならない。単に最も短い波長帯の信号光の波長を基に光ガイド層の組成波長を決めれば他の波長帯の信号光に対して大きく感度が悪化するということが起こりうる。

【0011】

以上のように、第1の波長帯の信号光に対応して高感度かつ高速動作が可能である導波型PDそのまま、第2或いはその他の波長帯の信号光を受光したとしても、これらの信号光に対して高感度でかつ高速動作を可能とさせることが困難であるという問題点があった。

【0012】

【特許文献1】特開平10-125948号公報

【特許文献2】特開平11-330536号公報

【非特許文献1】第50回応用物理学関係連合講演会 2003年（平成15年）春季 講演予稿集（2003.3 神奈川大学）1246頁 27p-H-15, 「受光波長1.5 μ m帯10Gb/s導波路型PIN-PDの特性」

【0013】

この発明は上記の問題点を解消するためになされたもので、第1の目的は、多波長信号光に対して高感度で、高速動作が可能な導波路型受光素子を構成することである。

【課題を解決するための手段】

【0014】

この発明に係る導波路型受光素子は、半絶縁性の半導体基板と、この半導体基板上に配設され、この半導体基板側から第1の電極に接続された第1導電型の第1クラッド層、第1導電型の第1光ガイド層、光吸収層、第2導電型の第2光ガイド層、および第2の電極に接続された第2導電型の第2クラッド層が順次積層された光導波路層と、を備えるとともに、最も短い信号光波長帯である第1の信号光波長帯の中心波長を λ_1 、第2の信号光波長帯の中心波長を λ_2 ($\lambda_2 > \lambda_1$)、第1、第2クラッド層の材料の組成波長を λ_a としたときに、第1、第2光ガイド層が第1の信号光に対して透明になるように、第1、第2光ガイド層の材料の組成波長 λ_g が、 $\lambda_a < \lambda_g < \lambda_1$ を満足するとともに、第1、第2の光

ガイド層の厚みの変化に対する $\lambda 1$ の感度曲線の勾配が正から負に変わる極値に対応した第1、第2の光ガイド層の厚みを $d 1$ 、第1、第2の光ガイド層の厚みの変化に対する $\lambda 2$ の感度曲線の勾配が正から負に変わる極値に対応した第1、第2の光ガイド層の厚みを $d 2$ としたときに、第1、第2の光ガイド層の厚み $d g$ が $0.75 d 1 \leq d g \leq 1.25 d 2$ を満足する多波長帯信号光兼用のもので、この構成により第1、第2の信号光波長帯を含む多波長帯信号光に対して、高い受光感度を保ったまま高速動作を可能にする。

【0015】

さらに、光吸収層の厚みを $d a$ としたとき、 $0.3 \mu m \leq d a \leq 0.5 \mu m$ を満足するようにしたもので、この構成によりキャリアの走行時間を抑え広帯域化を可能にする。

【0016】

またさらに、第1、第2クラッド層を $I n P$ で形成しその組成波長 λa を $\lambda a = 0.92 \mu m$ とし、 $\lambda 1 = 1.3 \mu m$ として、第1、第2の光ガイド層の材料の組成波長 λg を定めるとともに、 $\lambda 2 = 1.55 \mu m$ として、第1、第2の光ガイド層の厚み $d g$ が、 $d 1 = 0.4 \mu m$ 、 $d 2 = 0.6 \mu m$ とする $0.3 \mu m \leq d g \leq 0.75 \mu m$ を満足するようにしたもので、この構成により $1.3 \mu m$ 帯信号光と $1.55 \mu m$ 帯信号光とを含む多波長帯信号光に対して、高い受光感度を保ったまま高速動作を可能にする。

【0017】

またさらに、第1、第2の光ガイド層を $I n G a A s P$ 系半導体材料で構成したものである。

【0018】

またさらに、第1、第2の光ガイド層を $A l I n G a A s P$ 系半導体材料で構成したものである。

【0019】

またさらに、第1、第2の光ガイド層を $G a I n N A s$ 系半導体材料で構成したものである。

【0020】

またさらに、導波路側面に光吸収層より屈折率の低い材料により構成された低屈折率層を配設したものである。この構成により光の閉じ込め効率を高くすることができる。

【発明の効果】

【0021】

この発明に係る導波路型受光素子は以上に説明したような構成を備えているので、以下のような効果を有する。

この発明に係る導波路型受光素子においては、半絶縁性の半導体基板と、この半導体基板上に配設され、この半導体基板側から第1の電極に接続された第1導電型の第1クラッド層、第1導電型の第1光ガイド層、光吸収層、第2導電型の第2光ガイド層、および第2の電極に接続された第2導電型の第2クラッド層が順次積層された光導波路層と、を備えるとともに、最も短い信号光波長帯である第1の信号光波長帯の中心波長を $\lambda 1$ 、第2の信号光波長帯の中心波長を $\lambda 2$ ($\lambda 2 > \lambda 1$)、第1、第2クラッド層の材料の組成波長を λa としたときに、第1、第2光ガイド層が第1の信号光に対して透明になるように、第1、第2光ガイド層の材料の組成波長 λg が、 $\lambda a < \lambda g < \lambda 1$ を満足するとともに、第1、第2の光ガイド層の厚みの変化に対する $\lambda 1$ の感度曲線の勾配が正から負に変わる極値に対応した第1、第2の光ガイド層の厚みを $d 1$ 、第1、第2の光ガイド層の厚みの変化に対する $\lambda 2$ の感度曲線の勾配が正から負に変わる極値に対応した第1、第2の光ガイド層の厚みを $d 2$ としたときに、第1、第2の光ガイド層の厚み $d g$ が $0.75 d 1 \leq d g \leq 1.25 d 2$ を満足するもので、この構成により第1、第2の信号光波長帯を含む多波長帯信号光に対して、高い受光感度が保持されつつ高速動作が可能となる。従って受光感度が高く高速動作が可能な多波長帯信号光兼用の導波路型受光素子を簡単に提供することができる。延いては光通信システムが簡単になり、通信システムの大容量化を安価に進めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

以下の発明の実施の形態においては、光通信システムの受光素子として使用される導波路型受光素子の一例として40Gbps用の1.3 μ m帯及び1.55 μ m帯兼用の埋込み導波路型PIN-PDを用いて説明する。

【0023】

実施の形態1.

図1はこの発明の一実施の形態に係る導波路型受光素子の斜視図である。

図1において、この導波路型のPIN-PD10は前面の劈開端面の受光部12が矢印で示された信号光14を受ける。信号光14は中心波長 λ_1 が1.3 μ mである第1の信号波長帯としての1.3 μ m帯及び中心波長 λ_2 が1.55 μ mである第2の信号光波長帯としての1.55 μ m帯の2波長帯の光が含まれている。

PIN-PD10の上面側には、劈開端面の受光部12を介して信号光が導入される導波路を含む導波路メサ16が配設され、この導波路メサ16の表面に沿ってp電極18が、また導波路メサ16の両側面およびPIN-PD10の上面にn電極20が配設されている。p電極18およびn電極20が配設されている部分以外の上面は絶縁膜22で覆われている。

【0024】

図2は図1のII-II断面における導波路型受光素子の断面図、つまり信号光に交差する方向の断面であり、導波路と直交する断面での断面図である。

また図3は図1のIII-III断面における導波路型受光素子の断面図、つまり信号光の進行方向に沿った断面であり、導波路の延長方向の断面での断面図である。

なお図において同じ符号は同一のものか或いは相当のものである。

【0025】

図2において、半絶縁性の半導体基板としての半絶縁性のFeドープInP基板24上に、n-InGaAsのn-コンタクト層26が配設されている。このn-コンタクト層26の上に受光部12を介して信号光14が導入される導波路メサ16が配設されている。

導波路メサ16は、n-コンタクト層26側からn-コンタクト層26の表面上に配設された第1クラッド層としてのn-InPのn-クラッド層28、このn-クラッド層28の中央部表面上に配設された第1光ガイド層としてのn-InGaAsPのn-光ガイド層30、このn-光ガイド層30の表面上に配設されたi-InGaAsの光吸収層32、光吸収層32の表面上に配設された第2光ガイド層としてのp-InGaAsPのp-光ガイド層34、このp-光ガイド層34の表面上に配設された第2クラッド層としてのp-InPのp-クラッド層36、およびp-クラッド層36の表面上に配設されたp-InGaAsのp-コンタクト層40が順次積層された光導波路層としての導波路16aと、p-コンタクト層40を除くこの導波路16aの両側に配設され導波路メサ16の側面を形成する低屈折率層としてのFeドープInPのブロック層38とを有する。

【0026】

導波路16aの両側に配設されたブロック層38を光吸収層32よりも屈折率の低い材料で形成することにより、導波路16aとの屈折率差を大きくすることができ、光の閉じ込め効率が高くなり受光素子の受光感度を高めることができる。

さらにp-コンタクト層40の表面はp電極18が、またブロック層38の両側面を覆ってn-コンタクト層26の表面と接するn電極20がそれぞれ配設されている。p電極18とn電極20が覆っていない導波路メサ16の表面は絶縁膜22が配設され、p電極18とn電極20とは絶縁膜22を介して電氣的に分離されている。

【0027】

図3において、導波路16aの前方の受光側は劈開端面38aを有するFeドープInPのブロック層38が配設されている。また導波路16aの後方にもFeドープInPのブロック層38が配設されている。即ち導波路16aはFeドープInPのブロック層38に埋め込まれており、このブロック層38において劈開されチップとして形成される。

そしてブロック層 38 の劈開端面の受光部 12 を介して導波路 16 a に信号光が導入される。

この実施の形態においては、導波路 16 a の長手方向、すなわち光の進行方向の長さは、 $16\ \mu\text{m}$ である。また、 n -クラッド層 28 の層厚は $1.5\ \mu\text{m}$ 、 p -クラッド層 36 の層厚は $0.8\ \mu\text{m}$ 、 n -光ガイド層 30 および p -光ガイド層 34 の層厚はそれぞれ $0.4\ \mu\text{m}$ としている。

【0028】

光吸収層 32 の層厚はキャリアの走行時間を短くすることにより広帯域化が可能であるが、層厚を薄くすると光の吸収が少なくなるので、光吸収層 32 の層厚 d_a は、 $0.3\ \mu\text{m} \leq d_a \leq 0.5\ \mu\text{m}$ が適切な範囲であるが、この実施の形態では $d_a = 0.5\ \mu\text{m}$ としている。

n -クラッド層 28 及び p -クラッド層 36 の材料である InP の組成波長 λ_a は 0.92 とした。

また n -光ガイド層 30 及び p -光ガイド層 34 の材料である InGaAsP の組成波長 λ_g は、 n -クラッド層 28 及び p -クラッド層 36 の材料の屈折率である 0.92 より大きく、 $1.3\ \mu\text{m}$ 帯の光に対して透明になるように、即ち $\lambda_a < \lambda_g < \lambda_1$ となるように、さらに望ましくは $\lambda_a < \lambda_g < 0.965\ \lambda_1$ となるように、組成波長 λ_g が $1.2\ \mu\text{m}$ である InGaAsP を用いた。

【0029】

各層における n 型不純物は IV 族元素例えば Si 、 S などを、また p 型不純物は II 族元素、例えば Be 、 Zn などを添加している。真性半導体層の光吸収層 32 は特に不純物は添加していない。

従って、導波路 16 a において、 p -光ガイド層 34 と n -光ガイド層 30 とにこれらに挟まれた光吸収層 32 とは $p/i/n$ 接合を形成している。

【0030】

次にこの実施の形態の PIN-PD10 の製造方法の概略を説明する。

まず、半絶縁性 Fe ドープの InP 基板 24 上に、 n -コンタクト層 26 としての n - InGaAs 層、 n -クラッド層 28 としての n - InP 層、 n -光ガイド層 30 としての n - InGaAsP 層、光吸収層 32 としての i - InGaAs 、 p -光ガイド層 34 としての p - InGaAsP 、 p -クラッド層 36 としての p - InP 層、及び p -コンタクト層 40 としての p - InGaAs 層を、気相成長法例えば、 MOCVD 法により順次積層する。

【0031】

次にこれら積層の最上層である p -コンタクト層 40 としての p - InGaAs 層表面に SiO_2 膜を形成し、形成すべき導波路 16 a の上表面に対応する絶縁膜残し周囲に開口を有する絶縁膜パターンを形成し、この絶縁膜パターンをマスクとして、導波路 16 a を形成する。このとき、絶縁膜パターンを段階的に加工することにより、 n -クラッド層 28 としての n - InP 層が完全に露呈するところでエッチングを停止する部分、即ち導波路 16 a の前面及び両側面の部分と InP 基板 24 が露呈するまでエッチングを行う部分、即ち導波路 16 a の後方部分とを形成する。

【0032】

次にウエットエッチングによりドライエッチングの際に形成されたダメージ層を除去し、導波路 16 a を Fe ドープ InP で埋め込む埋込み成長を行い、ブロック層 38 を形成する。

次いで絶縁膜を形成し、ウエットエッチングにより導波路メサ 16 を形成し、 n 電極 20、絶縁膜 22 の形成、さらに p 電極 18 を形成する。

この後、適度な厚さまで InP 基板 24 の裏面をエッチングしてボンディング用の裏面メタルを形成しウエハプロセスを完了する。

【0033】

次に上述した $1.3\ \mu\text{m}$ 帯及び $1.55\ \mu\text{m}$ 帯兼用の PIN-PD10 においては、 n

ー光ガイド層 30 および p-光ガイド層 34 の層厚を $0.4\ \mu\text{m}$ と設定しているが、これら n-光ガイド層 30 および p-光ガイド層 34 の層厚の決定法について説明する。

まず n-光ガイド層 30 および p-光ガイド層 34 の層厚を除いて、デバイスの設計値を設定し、n-光ガイド層 30 および p-光ガイド層 34 の層厚を $0.1\ \mu\text{m} \sim 0.8\ \mu\text{m}$ まで変化させた場合について、BPM (beam propagation method) 法を用いて、波長が $1.3\ \mu\text{m}$ および $1.55\ \mu\text{m}$ の光に関してシミュレーションを行い、各信号光についての光ガイド層厚みに対する感度の依存性を求めた。

【0034】

図 4 はこの発明の一実施の形態に係る導波路型受光素子の光ガイド層厚みに対する信号光の感度依存性を示すグラフである。図 4 において、曲線 a は波長が $1.3\ \mu\text{m}$ の光に関する光ガイド層厚みに対する感度の依存性を示し、曲線 b は波長が $1.55\ \mu\text{m}$ の光に関する光ガイド層厚みに対する感度の依存性を示している。

図 4 において、曲線 a および曲線 b の勾配が正から負に変わる極値に対応した光ガイド層の厚み d_1 、 d_2 は、曲線 a では d_1 が $0.4\ \mu\text{m}$ 近傍、曲線 b では d_2 が $0.6\ \mu\text{m}$ 近傍である。これらの極値に対応する光ガイド層厚み d_1 、 d_2 から薄くなっても、厚くなっても感度の劣化が見られる。

従って、例えば $1.3\ \mu\text{m}$ 帯および $1.55\ \mu\text{m}$ 帯の信号光に対して共に良好な感度を示す光ガイド層の層厚 d_g は、 $0.4\ \mu\text{m} \leq d_g \leq 0.6\ \mu\text{m}$ の範囲に、感度が同等になり 2 波長帯の信号光に対して共に高感度になりうる光ガイド層の層厚が存在することが予想できる。図 4 においては $0.4\ \mu\text{m}$ より若干層厚が厚いところに存在しているように予想できる。

【0035】

一般的に言い換えれば、最も短い信号光波長帯である第 1 の信号光波長帯の中心波長を λ_1 、第 2 の信号光波長帯の中心波長を λ_2 ($\lambda_2 > \lambda_1$)、第 1、第 2 の光ガイド層の厚みの変化に対する λ_1 の感度曲線の勾配が正から負に変わる極値に対応した第 1、第 2 の光ガイド層の厚みを d_1 、第 1、第 2 の光ガイド層の厚みの変化に対する λ_2 の感度曲線の勾配が正から負に変わる極値に対応した第 1、第 2 の光ガイド層の厚みを d_2 としたときに、第 1、第 2 の光ガイド層の厚み d_g が $d_1 \leq d_g \leq d_2$ の範囲内にあれば、第 1 の信号光と第 2 の信号光との間に含まれる多波長信号光に対して、感度が同等になり、共に高感度になりうる光ガイド層の層厚が存在することが予想できる。

【0036】

ただ、極値近傍では感度曲線が、光ガイド層の層厚の変化に対して緩やかに変化するので、実質上は $0.3\ \mu\text{m} \leq d_g \leq 0.75\ \mu\text{m}$ の範囲、一般的に言い換えれば $0.75\ d_1 \leq d_g \leq 1.25\ d_2$ の範囲内において実質上問題なく光ガイド層厚を設定することができる。

【0037】

図 5 はこの発明の一実施の形態に係る導波路型受光素子の感度特性の計算値と実測値との比較を示すグラフである。

図 5 において、 s_1 は $1.3\ \mu\text{m}$ 帯の信号光に対する感度計算値、 s_2 は $1.55\ \mu\text{m}$ 帯の信号光に対する感度計算値である。また m_1 は $1.3\ \mu\text{m}$ 帯の信号光に対する感度実測値、 m_2 は $1.55\ \mu\text{m}$ 帯の信号光に対する感度実測値である。

図 5 の感度実測値 m_1 、 m_2 から分かるように $0.8\ \text{A/W}$ 程度の感度特性を持った素子がえられており、感度計算値と感度実測値とは概ね一致している。

【0038】

図 6 はこの発明の一実施の形態に係る導波路型受光素子の周波数応答を示すグラフである。

図 6 において、曲線 a は $1.3\ \mu\text{m}$ 帯の信号光に対する応答、曲線 b は $1.55\ \mu\text{m}$ 帯の信号光に対する応答である。図 6 から分かるように光吸収層 32 の厚み d_a が薄く形成されているために帯域が広がっている。

以上の説明においては、InGaAsP 系の材料を用いた埋込み導波路型 PIN-PD

について説明したが、InGaAsP系の材料の他にAlInGaAsP系材料やGaInNAs系材料を用いても良い。

【0039】

これらの材料は、複数の元素による混晶であるので、格子定数とバンドギャップを変化させることができるために、基板材料と格子定数を同じにして非常に広い範囲でバンドギャップを変化させることができる。このため設計の自由度が高くなり、より高感度な受光素子を設計することができる。

InGaAsP系の材料は古くから研究・開発がなされている材料系であり、現在通信用の受光素子の材料として最も一般的な材料であり、安定した特性を簡単に得ることができる。

またAlInGaAsP系材料でいえば、クラッド層、光ガイド層、光吸収層をそれぞれInAlAs、InGaAlAs、InGaAsといった材料を用いて構成することにより、所定の屈折率差を得ることができ、同様の効果を得ることができる。

【0040】

また、GaInNAs系材料においても組成比を変えることにより所定の屈折率差を得ることができ、同様の効果を得ることができる。

GaInNAs系材料を用いたPDはInGaAsP系材料やAlInGaAsP系材料を用いたPDよりもより広い範囲のバンドギャップ波長に対応することができる。

また以上の実施の形態の説明においては、PIN-PDを例に説明したが、信号を素子内で増幅する作用を有する受光素子、例えば素子内に増倍層を有するAPDアバランシェフォトダイオード、avalanche photodiode)のような受光し変換した電気信号を増幅させる機能を有する素子や、受光部前面に光信号を増幅させる機能を有するSOA (semiconductor optical amplifiers) を配置した受光素子などに適用して同様の効果を得ることができる。

【0041】

特にAPDにおいてはAlInGaAsP系材料が用いられ、信号を増幅したときにInGaAsP系材料に比べて雑音が少なくなるという効果がある。これによりより受光感度の高いAPDの作成が可能となる。

また上述のような素子を実装してモジュール化したデバイスにおいても同様の効果を有することは言うまでもない。

【0042】

以上のように、この実施の形態に係る多波長兼用の埋込み導波路型PIN-PDにおいては、 $1.3\mu\text{m}$ 帯信号光の中心波長を λ_1 とし、 $1.55\mu\text{m}$ 帯信号光の中心波長を λ_2 としたときに、 n 、 p 光ガイド層の厚みの変化に対する波長 λ_1 の光の感度曲線の勾配が正から負に変わる極値に対応した n 、 p 光ガイド層の厚みを d_1 、 n 、 p 光ガイド層の厚みの変化に対する波長 λ_2 の光の感度曲線の勾配が正から負に変わる極値に対応した n 、 p 光ガイド層の厚みを d_2 としたときに、導波型PIN-PDの n 、 p 光ガイド層の厚み d_g が、 $0.75d_1 \leq d_g \leq 1.25d_2$ を満足するもので、これにより $1.3\mu\text{m}$ 帯信号光および $1.55\mu\text{m}$ 帯信号光を含む多波長帯信号光に対して、高い受光感度を保ったまま高速動作を可能にすることができる。従って受光感度が高く高速動作が可能な多波長帯信号光兼用の導波路型受光素子を簡単に構成することができる。延いては光通信システムが簡単になり、通信システムの大容量化を安価に進めることができる。

【0043】

さらに、光吸収層の厚みを d_a としたとき、 $0.3\mu\text{m} \leq d_a \leq 0.5\mu\text{m}$ を満足するようにしたもので、この構成によりキャリアの走行時間を抑え広帯域化を可能にする。延いては広帯域受光素子を簡単に構成することができる。延いては通信システムの広帯域化が可能になり、システムの大容量化を容易に進めることができる。

【0044】

またさらに、 n 、 p クラッド層をInPで形成しその組成波長 λ_a を $\lambda_a = 0.92$

μm とし、 $\lambda 1 = 1.3 \mu\text{m}$ として、 $n-$ 、 p -光ガイド層の材料の組成波長 λg を定めるとともに、 $\lambda 2 = 1.55 \mu\text{m}$ として、 $n-$ 、 p -光ガイド層の厚み $d g$ が、 $d 1 = 0.4 \mu\text{m}$ 、 $d 2 = 0.6 \mu\text{m}$ とする $0.3 \mu\text{m} \leq d g \leq 0.75 \mu\text{m}$ を満足するようにしたもので、この構成により $1.3 \mu\text{m}$ 帯信号光と $1.55 \mu\text{m}$ 帯信号光とを含む多波長帯信号光に対して、高い受光感度を保ったまま高速動作を可能にする。

【0045】

またさらに、導波路側面に $i-\text{InGaAs}$ の光吸収層より屈折率の低い材料である FeDoped InP のブロック層を配設したものである。この構成により光の閉じ込め効率を高くすることができる。このため光の閉じ込め効率が高くなり受光素子の受光感度を高めることができる。延いては簡単な構成で受光感度の高い導波路型 PIN-PD を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0046】

【図1】 この発明の一実施の形態に係る導波路型受光素子の斜視図である。

【図2】 図1の I I - I I 断面における導波路型受光素子の断面図である。

【図3】 図1の I I I - I I I 断面における導波路型受光素子の断面図である。

【図4】 この発明の一実施の形態に係る導波路型受光素子の光ガイド層厚みに対する信号光の感度依存性を示すグラフである。

【図5】 この発明の一実施の形態に係る導波路型受光素子の感度特性の計算値と実測値との比較を示すグラフである。

【図6】 この発明の一実施の形態に係る導波路型受光素子の周波数応答を示すグラフである。

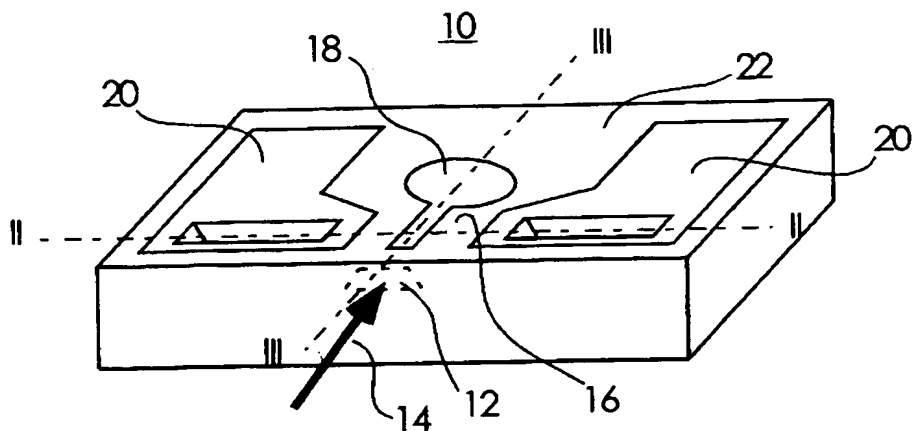
【符号の説明】

【0047】

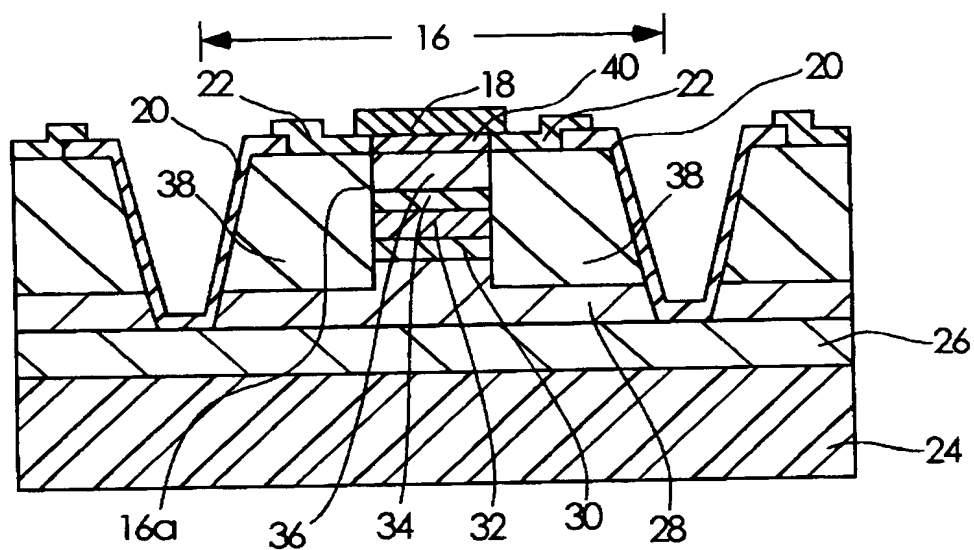
24 InP 基板、 20 n 電極、 28 n-クラッド層、 30 n-光
ガイド層、 32 光吸収層、 34 p-光ガイド層、 18 p 電極、 3
6 p-クラッド層、 16 a 導波路、 38 ブロック層。

【書類名】 図面

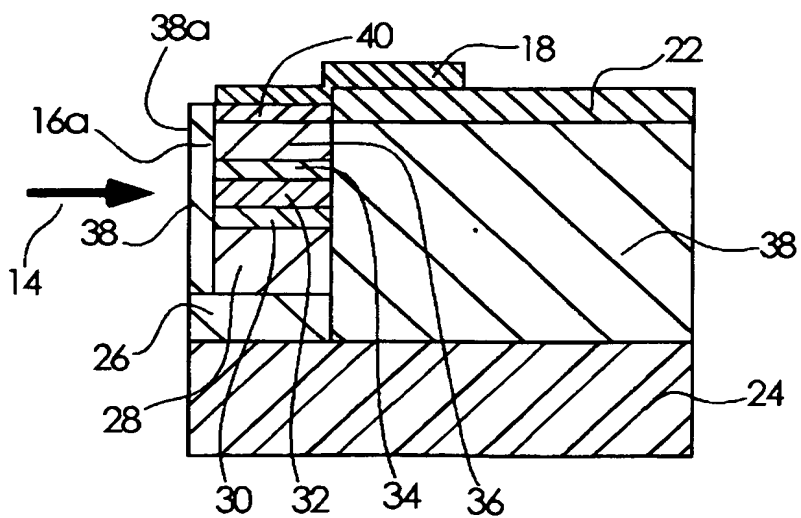
【図 1】



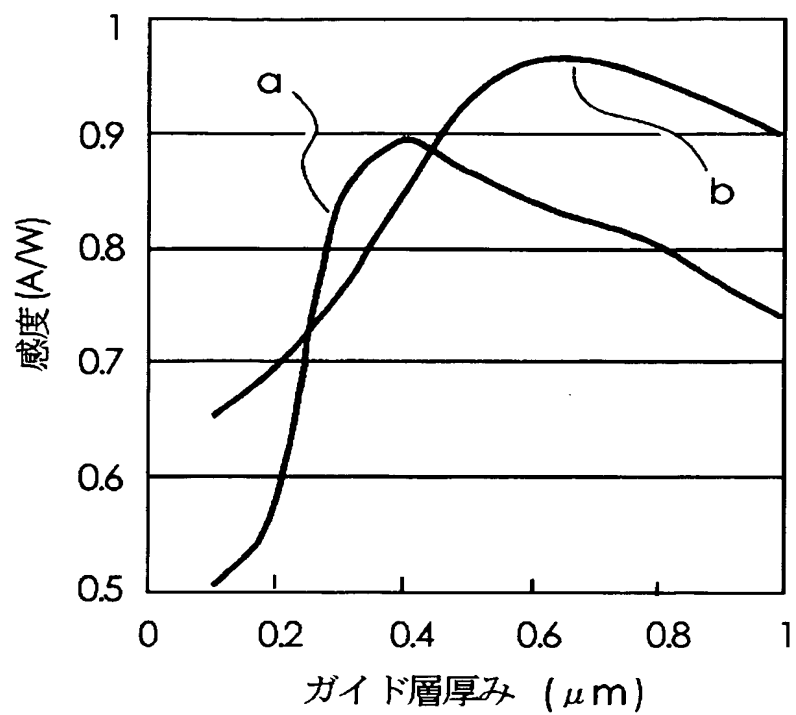
【図 2】



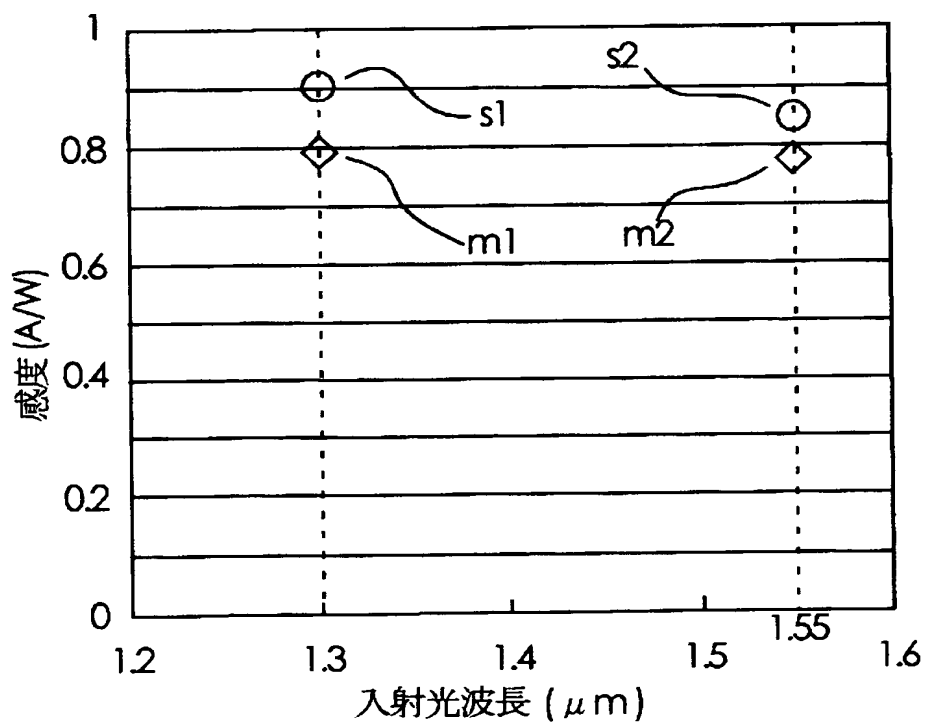
【図 3】



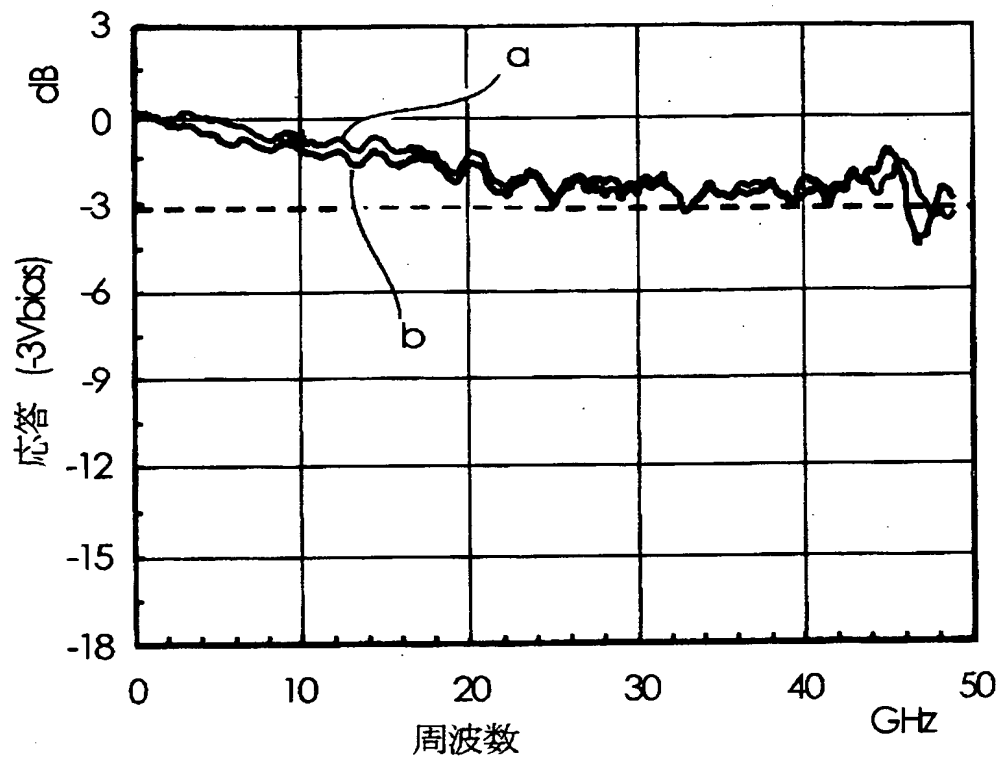
【図 4】



【図 5】



【図6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 多波長帯信号光それぞれに対して、高い受光感度を保ったまま高速動作を可能にする導波路型受光素子を構成する。

【解決手段】 1.3 μm 帯及び 1.55 μm 帯の信号光に対して、n-クラッド層 28 および p-クラッド層 36 の材料の組成波長を 0.92 μm とし、n-光ガイド層 30 および p-光ガイド層 34 の材料の組成波長 λ_g を 1.2 μm とするとともに、両光ガイド層 30, 34 の厚みの変化に対する 1.3 μm 波長光の感度曲線の勾配が正から負に変わる極値に対応した両光ガイド層の厚みを d_1 、および 1.55 μm 波長光の感度曲線の勾配が正から負に変わる極値に対応した両光ガイド層の厚みを d_2 としたときに、受光素子の両光ガイド層の厚み d_g が、 $0.75 d_1 \leq d_g \leq 1.25 d_2$ を満足するように構成する。

【選択図】

図 2

特願 2 0 0 3 - 2 8 1 4 5 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 6 0 1 3]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 4 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号

氏 名

三菱電機株式会社